

Beschreibung

Technisches Gebiet:

- 5 **[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Orientierung und Relativposition eines medizinischen Instruments, z.B. Sonde oder Injektionsnadel, gegenüber einer medizinisch relevanten Struktur im Körper eines Menschen oder Tieres zum Zweck eines medizinischen Eingriffs.

Stand der Technik:

- 10 **[0002]** In der Medizintechnik ist die so genannte 3D-Navigation bekannt und wird z.B. im Bereich der HNO-Chirurgie und Neurochirurgie eingesetzt. Aufgabe der 3D-Navigation ist es hierbei, den Chirurgen über die Orientierung und Relativposition eines medizinischen Instruments, welches er bei einem medizinischen Eingriff in den Körper des Patienten einführt, gegenüber einer medizinisch relevanten Struktur, z.B. Tumor, welchem der Eingriff gilt, zu informieren, um den Chirurgen während des Eingriffs zu führen und ihm ein möglichst minimalinvasives Vorgehen zu ermöglichen. Einige entsprechende Systeme werden in der Veröffentlichung "Computergestützte 3D-Navigationssysteme", erschienen in HNO 2/2000, 48, Seiten 75-90, Springer-Verlag 2000, von A.R. Gunkel, W.F. Thumfart und W. Freysinger beschrieben. Methoden der 3D-Navigation sind in der Veröffentlichung "Grenzen der CTbasierten Computernavigation in der Wirbelsäulenchirurgie", erschienen in UNFALLCHIRURG 8/2000, 103, Seiten 696-701, Springer-Verlag 2000, von F. Gebhard, L. Kinzl und M. Arand, erläutert.

- 20 **[0003]** Nachteilig bei diesen bekannten Verfahren zur 3D-Navigation ist, daß die atmungsbedingte Verformung des Körpers bei der Navigation nicht berücksichtigt wird, was den Anwendungsbereich dieser Verfahren auf solche Körperbereiche einschränkt, welche atmungsbedingten Verformung praktisch nicht unterworfen sind, wie z.B. der Kopf.

- 25 **[0004]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren bereitzustellen, mit welchem die Bestimmung der Orientierung und der Relativposition eines medizinischen Instruments gegenüber einer medizinisch relevanten Struktur im Körper eines atmenden Menschen oder atmenden Tieres unter Berücksichtigung atmungsbedingter Verformungen des Körpers ermöglicht wird.

- 30 **[0005]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zur Bestimmung der Orientierung und der Relativposition eines medizinischen Instruments gegenüber einer medizinisch relevanten Struktur, z.B. Knochen oder Tumor, im Körper eines atmenden Menschen oder atmenden Tieres, dessen Oberfläche einen Oberflächenabschnitt umfaßt, welcher sich aufgrund der Atmung gegenüber der Struktur zumindest zeitweise bewegt, zum Zweck eines medizinischen Eingriffs, wobei das medizinische Instrument mit mindestens zwei voneinander beabstandeten, an demselben starr angeordneten Markierungen versehen ist, deren Relativposition gegenüber dem medizinischen Instrument jeweils bekannt ist, umfassend folgende Schritte:

- 35 a) in wenigstens einer ersten Phase eines Atemzyklusses des Menschen oder Tieres wird mindestens ein die Struktur enthaltender Teil des Körpers einer Kernspin- oder Computer-Tomographie unterzogen, mittels welcher die Struktur sowie eine den Oberflächenabschnitt aufspannende Vielzahl von Oberflächenpunkten erfaßt und die in der ersten Phase vorliegende gegenseitige Relativposition der Oberflächenpunkte sowie die Relativposition der Struktur gegenüber mindestens einem der Oberflächenpunkte bestimmt werden,
- 40 b) auf dem Oberflächenabschnitt wird ein Satz von mindestens drei nicht kollinearen Referenzmarken, welche eine ebene oder nicht ebene Referenzfläche aufspannen, die an der atmungsbedingten Bewegung des Oberflächenabschnitts teilnimmt, ausgewählt, wobei der Ort jeder Referenzmarke

- 45 - in der ersten Phase jedes Atemzyklusses durch je einen der Referenzmarke ein-eindeutig zugeordneten ersten Aufpunkt, welche eine ebene oder nicht ebene erste Aufpunkt-Referenzfläche aufspannen,
- in einer zweiten Phase jedes Atemzyklusses durch je einen der Referenzmarke ein-eindeutig zugeordneten zweiten Aufpunkt, welche eine ebene oder nicht ebene zweite Aufpunkt-Referenzfläche aufspannen, und
- 50 - in einer dritten Phase jedes Atemzyklusses durch je einen der Referenzmarke ein-eindeutig zugeordneten dritten Aufpunkt, welche eine ebene oder nicht ebene zweite Aufpunkt-Referenzfläche aufspannen,

gegeben ist,

- c) mittels mindestens zwei voneinander beabstandeten ersten optischen Meßeinrichtungen wird die Relativposition von mindestens einem der ersten Aufpunkte gegenüber mindestens einem der zweiten Aufpunkte stereographisch oder trigonometrisch oder durch Bündelausgleich bestimmt,

- 55 d) mittels mindestens zwei voneinander beabstandeten zweiten optischen Meßeinrichtungen werden die gegenseitigen Relativpositionen von mindestens dreien der zweiten Aufpunkte stereographisch oder trigonometrisch oder durch Bündelausgleich bestimmt,

- e) die Relativposition von mindestens einem der zweiten Aufpunkte gegenüber mindestens einem der Oberflächenpunkte wird aus dem Ergebnis der Schritte c) und durch Ermittlung der Position der ersten oder der zweiten Aufpunkt-Referenzfläche auf dem Oberflächenabschnitt durch Matching zwischen der Orientierung und Gestalt der ersten bzw. zweiten Aufpunkt-Referenzfläche und der Orientierung und der Gestalt des Oberflächenabschnitts bestimmt,
- f) mittels mindestens zwei voneinander beabstandeten dritten optischen Meßeinrichtungen wird die gegenseitige Relativposition von mindestens einem der dritten Aufpunkte gegenüber mindestens einem der ersten oder zweiten Aufpunkte stereographisch oder trigonometrisch oder durch Bündelausgleich bestimmt,
- g) mittels mindestens zwei voneinander beabstandeten vierten optischen Meßeinrichtungen wird die Relativposition von mindestens zwei der Markierungen des medizinischen Instruments gegenüber jeweils mindestens einem der dritten Aufpunkte stereographisch oder trigonometrisch oder durch Bündelausgleich bestimmt, und
- h) aus den so gewonnenen Ergebnissen werden für die dritte Phase des Atemzyklusses die Orientierung und die Relativposition des medizinischen Instruments gegenüber der Struktur bestimmt.
- [0006]** Die medizinisch relevante Struktur kann z.B. ein Knochen, ein Gelenk, ein Tumor, ein eingedrungener Fremdkörper oder ein Teil eines inneren Organs sein. Das medizinische Instrument kann z.B. eine Sonde oder eine Injektionsnadel sein. Mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens wird vorteilhafterweise der Einfluß der Atmung auf die Relativposition des medizinischen Instruments gegenüber der Struktur berücksichtigt.
- [0007]** Alle genannten Relativpositionen beziehen sich auf alle drei Raumrichtungen, d.h. es werden dreidimensionale Informationen ermittelt, wobei die Ermittlung bzw. Berechnung der Relativpositionen bevorzugt, jedoch nicht notwendigerweise in kartesischen Koordinaten erfolgt.
- [0008]** Selbstverständlich wird für jeden Verfahrensschritt eine endliche Zeit benötigt. Mit erster, zweiter und dritter Phase sind daher jeweils Phasenbereiche endlicher Breite gemeint, innerhalb welcher die entsprechenden Verfahrensschritte ausführbar sind. Diese Breiten der Phasenbereiche werden bevorzugt sehr klein im Vergleich zur Dauer eines Atemzyklus gehalten.
- [0009]** Gemäß einer bevorzugten Variante der Erfindung fallen die erste und die zweite Phase bezüglich ihrer Lage im Atemzyklus zusammen, so daß die ersten Aufpunkte mit den zweiten Aufpunkten identisch sind, wobei der Verfahrensschritt c) entfällt. Gemäß einer anderen Variante fallen die erste und die dritte Phase bezüglich ihrer Lage im Atemzyklus zusammen, so daß die ersten Aufpunkte mit den dritten Aufpunkten identisch sind, und der Verfahrensschritt f) entfällt.
- [0010]** Gemäß einer Kombination dieser beiden Varianten fallen daher die erste, die zweite und die dritte Phase bezüglich ihrer Lage im Atemzyklus zusammen, so daß die ersten Aufpunkte mit den zweiten und den dritten Aufpunkten identisch sind und die Verfahrensschritte c) und f) entfallen.
- [0011]** Die ersten optischen Meßeinrichtungen befinden sich bevorzugt innerhalb des Kernspin- oder Computer-Tomographen und können auf herkömmliche Weise gegeneinander und gegen den Kernspin- oder Computer-Tomographen kalibriert, d.h. bezüglich ihrer Lage eingemessen werden. Beispielsweise kann zur Kalibrierung an einer definierten Stelle in dem Kernspin- oder Computer-Tomographen ein mit Markierungen versehenes Kalibriergestell aufgestellt werden, welches dazu dient, Zielmarken zur Bestimmung der gegenseitigen Relativlage der ersten optischen Meßeinrichtungen und der Relativlage derselben gegenüber dem Kernspin- oder Computer-Tomographen bereitzustellen. Auch die zweiten, dritten und vierten optischen Meßeinrichtungen jeweils können in herkömmlicher Weise gegeneinander eingemessen werden.
- [0012]** Die ersten, zweiten, dritten und vierten optischen Meßeinrichtungen können z.B. jeweils Videokameras sein. Bevorzugt ist die Anzahl der ersten, zweiten, dritten und vierten optischen Meßeinrichtungen jeweils gleich vier.
- [0013]** Die ersten und/oder zweiten und/oder dritten und/oder vierten optischen Meßeinrichtungen können identisch sein. Gemäß einer bevorzugten Variante der Erfindung sind die zweiten, dritten und vierten optischen Meßeinrichtungen identisch und befinden sich außerhalb des Kernspin- oder Computer-Tomographen.
- [0014]** Die erste Phase und die dritte Phase können z.B. so gewählt sein, daß im Atemzyklus des Menschen oder Tieres die erste Phase jeweils dem Übergang vom Einatmen zum Ausatmen und die dritte Phase jeweils dem Übergang vom Ausatmen zum Einatmen entspricht.
- [0015]** Die Referenzmarken können besonders vorteilhaft auf einer Trägerfläche, z.B. Pflaster, markiert sein, welche auf der Oberfläche des Körpers lösbar fixiert, z.B. aufgeklebt wird.
- [0016]** Gemäß einer bevorzugten Variante der Erfindung wird der Verfahrensschritt a) für eine Mehrzahl oder Vielzahl verschiedener, in ihrer Phasenlage bezüglich des Atemzyklus voneinander beabstandeter erster Phasen wiederholt, so daß für jede der ersten Phasen ein eigener, zu dieser ersten Phase gehörender Satz von gegenseitigen Relativpositionen der Oberflächenpunkte sowie eine zu dieser ersten Phase gehörende Relativposition der Struktur gegenüber mindestens einem der Oberflächenpunkte bestimmt werden.
- [0017]** Ebenso wird gemäß einer bevorzugten Variante der Verfahrensschritt d) für eine Mehrzahl oder Vielzahl verschiedener, in ihrer Phasenlage bezüglich des Atemzyklus voneinander beabstandeter zweiter Phasen wiederholt, so

daß für jede der zweiten Phasen ein eigener, zu dieser zweiten Phase gehörender Satz von gegenseitigen Relativpositionen der zweiten Aufpunkte bestimmt wird.

[0018] Dabei können die Anzahl der ersten Phasen und die Anzahl der zweiten Phasen vorteilhaft miteinander identisch sein, so daß jeder der ersten Phasen genau eine der zweiten Phasen zugeordnet ist, und die Phasenlage jeder der ersten Phasen mit der Phasenlage der ihr zugeordneten zweiten Phase übereinstimmt.

[0019] Gemäß einer Verfeinerung des erfindungsgemäßen Verfahren kann jede Durchführung des Verfahrensschrittes a) mit einer Durchführung des Verfahrensschrittes d) zeitlich zusammenfallen, so daß die Durchführung der Verfahrensschritte a) mit der Durchführung des Verfahrensschrittes d) jeweils synchron erfolgt.

[0020] Die Durchführung des Verfahrensschrittes a) braucht für die verschiedenen ersten Phasen nicht notwendigerweise innerhalb desselben Atemzyklus zu erfolgen; vielmehr kann die Durchführung des Verfahrensschrittes a) für eine der ersten Phasen in einem ersten Atemzyklus, für eine andere der ersten Phasen in einem zweiten Atemzyklus, für wieder eine andere der ersten Phasen in einem dritten Atemzyklus usw. erfolgen. Ebenso braucht die Durchführung des Verfahrensschrittes d) für die verschiedenen zweiten Phasen nicht notwendigerweise innerhalb eines einzigen Atemzyklus zu erfolgen; vielmehr kann die Durchführung des Verfahrensschrittes b) für eine der zweiten Phasen z.B. in einem vierten Atemzyklus, für eine andere der zweiten Phasen in einem fünften Atemzyklus, für wieder eine andere der zweiten Phasen in einem sechsten Atemzyklus usw. erfolgen.

[0021] Gemäß einer bevorzugten Variante erfolgen jedoch alle Wiederholungen des Verfahrensschrittes a) und des Verfahrensschrittes d) innerhalb eines einzigen, nämlich eines ersten Atemzyklusses. Wenn z.B. der Atemzyklus eine Dauer von X Sekunden hat, kann diese Dauer z.B. in Y gleiche Teile zerlegt werden, so daß jeder Teil X/Y Sekunden dauert., und der Verfahrensschritt a) kann während des ersten Atemzyklus in Zeitabständen von X/Y Sekunden insgesamt Y mal wiederholt werden, so daß Y verschiedene erste Phasen vorliegen, welche gleichmäßig über den Atemzyklus verteilt sind.

[0022] Gemäß einer bevorzugten Variante der Erfindung werden die Verfahrensschritte f) bis h) für eine Mehrzahl oder Vielzahl verschiedener, in ihrer Phasenlage bezüglich des Atemzyklus voneinander beabstandeter dritter Phasen wiederholt, so daß für jede der dritten Phasen die Orientierung und die Relativposition des medizinischen Instruments gegenüber der Struktur neu bestimmt werden.

[0023] Gemäß einer bevorzugten Variante der Erfindung sind die Anzahl der zweiten Phasen und die Anzahl der dritten Phasen miteinander identisch, so daß jeder der dritten Phasen eine der zweiten Phasen eindeutig zugeordnet ist, und die Phasenlage jeder der dritten Phasen mit der Phasenlage der ihr zugeordneten zweiten Phasen übereinstimmt, wobei für jede der dritten Phasen die Orientierung und die Relativposition des medizinischen Instruments gegenüber der Struktur unter Verwendung

- desjenigen Satzes von gegenseitigen Relativpositionen der zweiten Aufpunkte, welcher zu der dieser dritten Phase zugeordneten zweiten Phase gehört,
- desjenigen Satzes von gegenseitigen Relativpositionen der Oberflächenpunkte, welcher zu der dieser zweiten Phase zugeordneten ersten Phase gehört, und
- derjenigen Relativposition der Struktur gegenüber mindestens einem der Oberflächenpunkte, welche zu der dieser zweiten Phase zugeordneten ersten Phase gehört,

neu bestimmt wird.

[0024] Auf diese Weise werden bei der Bestimmung der Orientierung und Relativposition des medizinischen Instruments gegenüber der Struktur nicht nur die atmungsbedingte Hebung und Senkung der Referenzfläche berücksichtigt, sondern sehr vorteilhaft auch alle atmungsbedingten Verschiebungen der Struktur innerhalb des Körpers sowie alle atmungsbedingten Verzerrungen, Verformungen und Orientierungsänderungen der Referenzfläche.

[0025] Die Verfahrensschritte f) bis h) werden bevorzugt erst nach Ende des ersten Atemzyklusses und bevorzugt außerhalb des Kernspin- oder Computer-Tomographen durchgeführt.

[0026] Insbesondere können die Verfahrensschritte f) bis h) über eine Mehrzahl von Atemzyklen hinweg fortlaufend wiederholt werden. Die Wiederholung der Verfahrensschritte f) bis h) kann so lange fortgesetzt werden wie es für den medizinischen Eingriff erforderlich ist.

[0027] Gemäß einer weiteren Variante der Erfindung können die Orientierung und die Relativposition des medizinischen Instruments gegenüber der Struktur nicht nur für solche Zeitpunkt ermittelt werden, welche auf eine der dritten Phasen fallen, sondern für beliebige Zeitpunkte bzw. Phasen. Gemäß dieser Variante wird die Orientierung bzw. die Relativposition des medizinischen Instruments gegenüber der Struktur für eine beliebige vierte Phase des Atemzyklusses gewonnen werden, indem zwischen den für zwei verschiedene dritten Phasen ermittelten Orientierungen des medizinischen Instruments bzw. zwischen den für zwei verschiedene dritten Phasen ermittelten Relativposition des medizinischen Instruments gegenüber der Struktur linear oder nichtlinear interpoliert wird. Vorzugsweise werden dabei für die Interpolation diejenigen beiden dritten Phasen herangezogen, welche der vierten Phase benachbart sind.

[0028] Insbesondere kann die jeweils zuletzt bestimmte Orientierung und Relativposition des medizinischen Instru-

ments gegenüber der Struktur auf mindestens einem Monitor graphisch dargestellt werden, um dem den Eingriff vornehmenden Chirurgen als Navigationshilfe zu dienen. Gemäß einer Verfeinerung dieser Variante erfolgt die Darstellung in Projektion auf verschiedene Ebenen, deren Normalen verschiedenen Blickrichtungen entsprechen, auf mehreren Monitoren zugleich. Gemäß einer weiteren Variante werden die Struktur und das medizinische Instrument auf einem Monitor in Stereo-Darstellung gezeigt, wobei der Chirurg eine Stereobrille trägt. Auf dem Monitor bzw. den Monitoren kann zusätzlich die jeweils zuletzt bestimmte Relativposition der Referenzmarken gegenüber der Struktur in Echtzeit dargestellt werden, um die Navigation weiter zu erleichtern.

Die Darstellung auf dem Monitor bzw. den Monitoren kann dabei jeweils in Echtzeit erfolgen. Bei hinreichend dichter Wahl der ersten bzw. zweiten bzw. dritten Phasen kann auf dem Monitor bzw. den Monitoren eine filmähnliche Bildfolge dargestellt werden. Dabei kann insbesondere die Information über die Relativposition der Referenzmarken untereinander und gegenüber der Struktur aus den innerhalb des Kernspin- oder Computertomographen während des ersten Atemzyklus für eine Vielzahl von ersten Phasen jeweils durchgeführten Verfahrensschritten a) stammen, sich also für alle folgenden Atemzyklen stets auf den ersten Atemzyklus beziehen, während die Orientierung und die Relativposition des medizinischen Instruments gegenüber den Referenzmarken laufend "on-line" neu bestimmt wird. Die Darstellung auf dem Monitor setzt sich in dieser Variante der Erfindung demnach zusammen aus Informationen, welche aus dem ersten Atemzyklus stammen und dort jeweils nur einmal gewonnen und gespeichert wurden, und solchen, welche in späteren Atemzyklen fortlaufend gewonnen werden.

[0029] Insbesondere kann zwischen dem Verfahrensschritt a) und den Verfahrensschritten g) und h) eine beliebige Zeitspanne liegen. Änderungen der Atemfrequenz, welche eine derartige Überlagerung von Informationen stören würden, können dabei erfaßt und rechnerisch durch eine entsprechende zeitliche Anpassung, d.h. rechnerische Dehnung oder Komprimierung des ersten Atemzyklusses berücksichtigt werden.

[0030] Die Markierungen brauchen nicht notwendigerweise unmittelbar an dem medizinischen Instrument angeordnet zu sein. Vielmehr können sie auch starr an einem Trägerkörper angeordnet sein, welcher seinerseits mit dem medizinischen Instrument lösbar, jedoch starr verbunden ist, wobei im Falle eines Wechsels des medizinischen Instruments ein- und derselbe Trägerkörper nacheinander an verschiedenen medizinischen Instrumenten zum Einsatz kommen kann.

[0031] Mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens kann der Einfluß der Atmung auf die Relativposition des medizinischen Instruments gegenüber der Struktur für unbegrenzte Zeit fortlaufend berücksichtigt und graphisch dargestellt werden, wobei der Körper vorteilhafterweise nur für kurze Zeit einer Kernspin- oder Computer-Tomographie ausgesetzt zu werden braucht.

[0032] Kurzbeschreibung der Zeichnung, in der schematisch zeigen:

Fig. 1 einen Körper, welcher eine medizinisch relevante Struktur enthält, innerhalb eines Kernspin- oder Computertomographen in Querschnittsdarstellung,

Fig. 2 einen Oberflächenabschnitt des Körpers von Fig. 1 mit darauf angebrachten Referenzmarken in Draufsicht, wobei die Referenzmarken eine Referenzfläche aufspannen,

Fig. 3 die atmungsbedingte Verschiebung der Referenzfläche von Fig. 2,

Fig. 4 die Bestimmung der gegenseitigen Relativpositionen der Referenzmarken von Fig. 2 mittels optischer Meßeinrichtungen,

Fig. 5 ein teilweise in den Körper von Fig. 1 eingeführtes medizinisches Instrument, dessen Orientierung und Relativposition bezüglich der medizinisch relevanten Struktur von Fig. 1 bestimmt wird,

Fig. 6 eine perspektivische Darstellung des Kernspin- oder Computertomographen von Fig. 1 mit einem darin angeordneten Kalibriergestell,

Fig. 7 einen Trägerkörper, welcher an einem medizinischen Instrument starr angeordnet ist, und

Fig. 8 eine perspektivische Darstellung des Kalibriergestells von Fig. 6.

[0033] Die Fig. 1 bis 5 geben einen schematischen Überblick über den Ablauf einer bevorzugten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Bestimmung der Orientierung und der Relativposition eines medizinischen Instruments 1 gegenüber einer medizinisch relevanten Struktur S im Körper 2 eines atmenden Menschen oder atmenden Tieres, dessen Oberfläche einen Oberflächenabschnitt 3 umfaßt, welcher sich aufgrund der Atmung gegenüber der Struktur S zumindest zeitweise bewegt. Die Struktur S kann z.B. ein Knochen, ein Tumor oder ein eingedrungener Fremdkörper sein. Das medizinische Instrument 1 dient zum Zweck eines medizinischen Eingriffs, beispielsweise um den Fremdkörper S zu entfernen, und ist mit vier voneinander beabstandeten, an demselben starr angeordneten Markierungen M1, M2, M3, M4 versehen, deren Relativposition gegenüber dem medizinischen Instrument 1 jeweils bekannt ist.

[0034] Zu einem ersten Zeitpunkt t1 (Fig. 1), welcher einer ersten Phase ϕ_1 des Atemzyklusses des Menschen oder Tieres entspricht, wird ein die Struktur S enthaltender Teil des Körpers 2 einer Kernspin- oder Computertomographie unterzogen. Hierzu wird der Körper 2 in einen Kernspin- oder Computertomographen 4 verbracht und darin auf einem Tisch 5 gelagert. Diese Situation ist in Fig. 1 in Querschnittsdarstellung gezeigt, wobei der Oberflächenabschnitt 3 in

Fig. 1 von der Kante her betrachtet wird. Mittels der Kernspin- oder Computer-Tomographie wird die Struktur S erfaßt. Ferner wird durch die Kernspin- oder Computer-Tomographie auch eine Vielzahl von Oberflächenpunkten erfaßt, die den Oberflächenabschnitt 3 aufspannen. Von der Vielzahl von Oberflächenpunkten sind in Fig. 1 aus Gründen der Anschaulichkeit nur drei Oberflächenpunkte P1, P2, P3 eingezeichnet.

5 **[0035]** Mit Hilfe der Kernspin- oder Computer-Tomographie werden die jeweils zum ersten Zeitpunkt t1 vorliegende gegenseitige Relativposition der Oberflächenpunkte P1, P2, P3 sowie außerdem die Relativposition der Struktur S gegenüber mindestens einem der Oberflächenpunkte P1, P2, P3 bestimmt; im vorliegenden Beispiel sei dies der Oberflächenpunkt P1.

10 **[0036]** Auf dem Oberflächenabschnitt 3 wird ein Satz von mindestens drei nicht kollinearen Referenzmarken R1, R2, R3 ausgewählt. Als Referenzmarken können z.B. solche gewählt werden, welche sich auf natürliche Weise von der umgebenden Oberfläche abheben und somit leicht identifizierbar sind, z.B. Leberflecken oder Male auf der Haut eines Menschen. In einer bevorzugten Variante der Erfindung werden die ausgewählten Referenzmarken R1, R2, R3 jedoch farblich gekennzeichnet, um sie gegenüber der umgebenden Oberfläche optisch abzuheben.

15 **[0037]** Fig. 2 zeigt eine Draufsicht auf den Oberflächenabschnitt 3 mit drei ausgewählten Referenzmarken R1, R2, R3, welche zur Unterscheidung von den Oberflächenpunkten P1, P2, P3 (Fig. 1), sowie um zu symbolisieren, daß es sich um Marken, nicht um mathematisch gedachte, unsichtbare Punkte handelt, sternförmig dargestellt sind. Die Blickrichtung von Fig. 2 entspricht dabei der Richtung des Pfeils von Fig. 1. Die Referenzmarken R1, R2, R3 spannen eine Referenzfläche RF auf, welche an der atmungsbedingten Bewegung des Oberflächenabschnitts 3 teilnimmt.

20 **[0038]** Die Referenzfläche RF stellt eine Annäherung an einen bestimmten Ausschnitt des Oberflächenabschnitts dar. Diese Näherung ist umso besser, je größer die Zahl der Referenzmarken ist. Im Fall von nur drei ausgewählten Referenzmarken R1, R2, R3 ist die Referenzfläche RF selbstverständlich eben und stellt einen durch eine Dreiecksfläche angenäherten Ausschnitt des Oberflächenabschnitts 3 dar, welcher selbstverständlich auch im Bereich der Dreiecksfläche nicht eben zu sein braucht. Gemäß einer bevorzugten Variante der Erfindung werden 10 bis 12 Referenzmarken so ausgewählt, daß die Referenzfläche eine gute Näherung eines solchen Ausschnitts aus dem Oberflächenabschnitt 3 darstellt, welcher anhand seiner Oberflächengestalt (Orographie) und seiner Orientierung im Raum eindeutig identifizierbar ist. Die Oberflächenpunkte P1, P2, P3 von Fig. 1 sind in Fig. 2 nicht dargestellt.

25 **[0039]** Aufgrund der Atmung findet zumindest zeitweise eine Bewegung der Referenzfläche RF gegenüber der Struktur S statt. Insbesondere kann sich die Referenzfläche RF beim Einatmen heben und beim Ausatmen senken. In der ersten Phase $\phi 1$ des Atemzyklusses ist der Ort jeder Referenzmarke R1, R2, R3 gegeben durch je einen der Referenzmarke R1 bzw. R2 bzw. R3 ein-eindeutig zugeordneten ersten Aufpunkt R1' bzw. R2' bzw. R3'. Die ersten Aufpunkte R1', R2', R3' spannen eine erste Aufpunkt-Referenzfläche RF' auf. D.h., in der ersten Phase $\phi 1$ des Atemzyklusses nehmen die Referenzmarken R1 bzw. R2 bzw. R3 die Orte der ersten Aufpunkte R1' bzw. R2' bzw. R3' ein, und die Referenzfläche RF geht hierbei über in die erste Aufpunkt-Referenzfläche RF'.

30 **[0040]** In völliger Analogie hierzu ist in einer zweiten Phase $\phi 2$ des Atemzyklusses der Ort jeder Referenzmarke R1, R2, R3 gegeben durch je einen der Referenzmarke R1 bzw. R2 bzw. R3 ein-eindeutig zugeordneten zweiten Aufpunkt R1'' bzw. R2'' bzw. R3''. Die zweiten Aufpunkte R1'', R2'', R3'' spannen eine zweite Aufpunkt-Referenzfläche RF'' auf. D.h., in der zweiten Phase $\phi 2$ des Atemzyklusses nehmen die Referenzmarken R1 bzw. R2 bzw. R3 die Orte der zweiten Aufpunkte R1'' bzw. R2'' bzw. R3'' ein, und die Referenzfläche RF geht hierbei über in die zweite Aufpunkt-Referenzfläche RF''. In wiederum völliger Analogie hierzu ist in einer dritten Phase $\phi 3$ des Atemzyklusses der Ort jeder Referenzmarke R1, R2, R3 gegeben durch je einen der Referenzmarke R1 bzw. R2 bzw. R3 ein-eindeutig zugeordneten dritten Aufpunkt R1''' bzw. R2''' bzw. R3'''. Die dritten Aufpunkte R1''', R2''', R3''' spannen eine dritte Aufpunkt-Referenzfläche RF''' auf. D.h., in der dritten Phase $\phi 3$ des Atemzyklusses nehmen die Referenzmarken R1 bzw. R2 bzw. R3 die Orte der dritten Aufpunkte R1''' bzw. R2''' bzw. R3''' ein, und die Referenzfläche RF geht hierbei über in die dritte Aufpunkt-Referenzfläche RF'''.

45 **[0041]** Die erste Phase $\phi 1$ kann z.B. so gewählt sein, daß sie dem Umkehrpunkt vom Ausatmen zum Einatmen entspricht, so daß die erste Aufpunkt-Referenzfläche RF' die tiefste Absenkung der Referenzfläche RF kennzeichnet. Ebenso kann die dritte Phase $\phi 3$ so gewählt sein, daß sie dem Umkehrpunkt vom Einatmen zum Ausatmen entspricht, so daß die dritte Aufpunkt-Referenzfläche RF''' die höchste Hebung der Referenzfläche RF kennzeichnet. Hierbei sind die erste und die dritte Aufpunkt-Referenzfläche RF', RF''' in der Regel nicht deckungsgleich, da sich der Oberflächenabschnitt während des Atemzyklus in Abhängigkeit von der Phase vergrößern, verkleinern und verzerren kann. Im vorliegenden Beispiel wird die dritte Aufpunkt-Referenzfläche RF''' größer sein und in der Regel auch eine andere Form aufweisen als die erste Aufpunkt-Referenzfläche RF'.

50 **[0042]** Fig. 3 zeigt schematisch die erste, zweite und dritte Aufpunkt-Referenzfläche RF', RF'', RF''' mit den Aufpunkten R1', R2', R3' bzw. R1'', R2'', R3'' bzw. R1''', R2''', R3''', wobei die Blickrichtung parallel zu derjenigen von Fig. 1 ist, so daß die Aufpunkt-Referenzflächen RF', RF'', RF''' von ihren Kanten her zu sehen sind. Die erste Phase $\phi 1$ ist in Fig. 3 so gewählt, daß sie dem Umkehrpunkt vom Ausatmen zum Einatmen entspricht; die dritte Phase $\phi 3$ ist in Fig. 3 so gewählt, daß sie dem Umkehrpunkt vom Einatmen zum Ausatmen entspricht. Der gegenseitige Abstand der Aufpunkt-Referenzflächen sowie deren Größenunterschied ist in Fig. 3 stark übertrieben dargestellt.

[0043] Mittels mindestens zwei, vorzugsweise vier voneinander beabstandeten ersten optischen Meßeinrichtungen, welche vorzugsweise Video-Kameras K1A,K1B sind, wird in einem weiteren Verfahrensschritt die Relativposition von mindestens einem der ersten Aufpunkte R1',R2',R3' gegenüber mindestens einem der zweiten Aufpunkte R1'',R2'',R3'' stereographisch oder trigonometrisch oder durch Bündelausgleich bestimmt. Dieser Verfahrensschritt kann entfallen, wenn die erste und die zweite Phase ϕ_1, ϕ_2 zusammenfallen, was gemäß einer bevorzugten Variante der Erfindung der Fall ist.

[0044] Mittels mindestens zwei voneinander beabstandeten zweiten optischen Meßeinrichtungen, welche vorzugsweise Video-Kameras K2A,K2B sind (Fig. 4), werden die gegenseitigen Relativpositionen von mindestens dreien der zweiten Aufpunkte R1'',R2'',R3'', bevorzugt von allen zweiten Aufpunkten, stereographisch oder trigonometrisch oder durch Bündelausgleich bestimmt, so daß die Orientierung und Gestalt der zweiten Aufpunkt-Referenzfläche RF'' bekannt ist. Gemäß einer bevorzugten Variante der Erfindung werden zur Bestimmung dieser Relativpositionen vier voneinander beabstandete zweite optische Meßeinrichtungen, z.B. Video-Kameras, verwendet. Die ersten und die zweiten optischen Meßeinrichtungen sind gemäß einer Variante der Erfindung miteinander identisch.

[0045] Die Relativposition von mindestens einem der zweiten Aufpunkte R1'',R2'',R3'' gegenüber mindestens einem der Oberflächenpunkte P1,P2,P3 wird in einem weiteren Verfahrensschritt aus der oben ermittelten Relativposition von mindestens einem der ersten Aufpunkte R1',R2',R3' gegenüber mindestens einem der zweiten Aufpunkte R1'',R2'',R3'' und durch Ermittlung der Position der ersten oder der zweiten Aufpunkt-Referenzfläche RF',RF'' auf dem Oberflächenabschnitt 3 durch Matching zwischen der Orientierung und Gestalt der ersten bzw. zweiten Aufpunkt-Referenzfläche RF',RF'' und der Orientierung und der Gestalt des Oberflächenabschnitts 3 bestimmt.

[0046] "Matching" ist ein im Stand der Technik bekanntes EDV-Verfahren zum Vergleich der Oberflächengestalt (Orographie) und Orientierung von zwei Flächenstücken; auf diese Weise kann ein Flächenstück einem bestimmten Abschnitt einer größeren Fläche zugeordnet und mit diesem identifiziert werden, d.h. es kann festgestellt werden, welchem Abschnitt der größeren Fläche das Flächenstück entweder vollständig oder, bei fehlender völliger Übereinstimmung, mit dem höchsten Maß an Übereinstimmung entspricht. Dadurch kann das Flächenstück auf der größeren Fläche lokalisiert werden.

[0047] Im Rahmen der Erfindung wird ein derartiges Matching dazu verwendet, die zweite Aufpunkt-Referenzfläche RF'' mit einem bestimmten Ausschnitt des Oberflächenabschnitts 3 zu identifizieren oder diesem zuzuordnen, d.h. die zweite Aufpunkt-Referenzfläche RF'' auf dem Oberflächenabschnitt 3 zu lokalisieren. Hierdurch sowie aus der oben ermittelten Relativposition von mindestens einem der ersten Aufpunkte R1',R2',R3' gegenüber mindestens einem der zweiten Aufpunkte R1'',R2'',R3'' ist die Relativposition von mindestens einem der zweiten Aufpunkte R1'',R2'',R3'' gegenüber mindestens einem der Oberflächenpunkte P1,P2,P3 ermittelbar.

[0048] In einem weiteren Verfahrensschritt wird mittels mindestens zwei, vorzugsweise vier voneinander beabstandeten dritten optischen Meßeinrichtungen K3A,K3B die gegenseitige Relativposition von mindestens einem der dritten Aufpunkte R1''',R2''',R3''' gegenüber mindestens einem der ersten oder zweiten Aufpunkte R1',R2',R3', R1'',R2'',R3'' stereographisch oder trigonometrisch oder durch Bündelausgleich bestimmt. Die zweiten und die dritten optischen Meßeinrichtungen sind gemäß einer Variante der Erfindung miteinander identisch.

[0049] Fig. 5 dient zur Veranschaulichung eines weiteren Verfahrensschritts. Das medizinische Instrument 1 ist im Beispiel von Fig. 5 zum Zweck eines medizinischen Eingriffes teilweise in den Körper eingeführt, und trägt vier Markierungen M1,M2,M3,M4, welche starr an dem medizinischen Instrument angeordnet sind und sich außerhalb des Körpers befinden. Die Markierungen M1,M2,M3,M4 sind in Fig. 5 sternförmig dargestellt, um zu symbolisieren, daß es sich um Marken, nicht um mathematische, unsichtbare Punkte handelt.

[0050] Mittels mindestens zwei, bevorzugt vier voneinander beabstandeten vierten optischen Meßeinrichtungen K4A,K4B wird in diesem Verfahrensschritt die Relativposition von mindestens zwei der Markierungen M1,M2,M3,M4 des medizinischen Instruments 1 gegenüber jeweils mindestens einem der dritten Aufpunkte R1''',R2''',R3''' stereographisch oder trigonometrisch oder durch Bündelausgleich bestimmt. Hieraus ergibt sich die Orientierung und die Relativposition des medizinischen Instruments 1 gegenüber wenigstens einem der dritten Aufpunkte R1''',R2''',R3''', dessen Relativposition gegenüber der Struktur S aufgrund der obigen Verfahrensschritte bekannt oder ermittelbar ist.

[0051] Aus den so gewonnenen Ergebnissen werden für die dritte Phase ϕ_3 des Atemzyklusses die Orientierung und die Relativposition des medizinischen Instruments 1 gegenüber der Struktur S bestimmt. Die dritten und die vierten optischen Meßeinrichtungen sind gemäß einer Variante der Erfindung miteinander identisch.

[0052] Ein Ziel des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es, eine minimalinvasive Chirurgie in einem dem Chirurgen gewohnten Umfeld zu ermöglichen. Dies wird gemäß einer bevorzugten Variante der Erfindung durch ein zweistufiges Verfahren möglich. In der ersten Stufe werden in einem MR bzw. CT (Spiralscan) dreidimensionale Informationen der Patienten - speziell der Region des minimalinvasivem Eingriffes - generiert. Gleichzeitig erfolgt eine berührungslose Abtastung (Vermessung) der Oberfläche des Patienten. In der zweiten Stufe befindet sich der Patient außerhalb der Modalität in einer konventionellen Operationsumgebung. Durch eine wiederum berührungslose Abtastung (Vermessung) der Patientenoberfläche wird gemäß dieser Variante der Erfindung mit Hilfe computergestützter Verfahren der Zusammenhang zwischen Oberfläche und den in der Modalität 4 (Tomograph) gewonnenen 3D-Daten für jeden Zeit-

punkt der Aufnahme hergestellt. Der Operateur erhält somit eine der aktuellen Lage des Patienten entsprechende Schnittbildinformation visualisiert und kann frei von Beschränkungen durch Bildgenerierungssysteme agieren. Über ein Navigationssystem kann die Lage der Schnittbilder eingestellt und die Position der Operationswerkzeuge 1 dargestellt werden. Dazu wird ein speziell markiertes Navigationswerkzeug verwendet.

5 **[0053]** Fig. 6 zeigt eine perspektivische Darstellung des Kernspin- oder Computer-Tomographen von Fig. 1. Das System zur Gewinnung der Oberflächeninformation in der Modalität umfaßt gemäß dieser Variante der Erfindung vier erste optische Meßeinrichtungen, nämlich vier CMOS-Kameras, von welchen in Fig. 6 nur zwei dargestellt sind (K1A, K1B). Das CMOS-Kamerasystem K1A, K1B in der Modalität 4 dient zur Aufnahme der Körperoberfläche 3 und deren Bewegung. Diese Daten werden zeitlich synchronisiert mit den Volumeninformationen des Patienten aufgezeichnet.
10 Eine vergleichbare Anordnung von vier zweiten optischen Meßeinrichtungen, nämlich vier weiteren CMOS-Kameras K2A, K2B, K2C, K2D, befindet sich über dem OPTisch außerhalb der Modalität. Die vier weiteren CMOS-Kameras K2A, K2B, K2C, K2D liefern die zu vergleichende Oberflächeninformation des Eingriffsbereiches des Patienten in der Operationslage.

[0054] Der prinzipielle Aufbau des Systems geht aus Fig. 6 hervor. Die Röhre stellt in Fig. 6 den Aufnahmebereich der Modalität 4 dar, innerhalb der die ersten optischen Meßeinrichtungen angebracht sind. In Fig. 6 befindet sich innerhalb der Röhre ein Kalibriergestell 7 zur Registrierung des Koordinatensystems der Modalität und des Multikamerasystems, welches die ersten optischen Meßeinrichtungen bildet.

[0055] Fig. 7 zeigt einen Trägerkörper 6, welcher an dem medizinischen Instrument 1 starr angeordnet ist und zur Lokalisierung einer Eingriffsposition dient. Der Trägerkörper 6 ist in der hier gezeigten Ausführungsform ein spezieller Handgriff, der mit vier farbigen Markierungen M1, M2, M3, M4 versehen ist. Bei bekannter Position der Markierungen auf dem Trägerkörper 6 kann mittels bekannter Bildverarbeitungsverfahren die Drehlage des medizinischen Instruments 1 im Raum und relativ zur Patientenoberfläche bestimmt werden.

[0056] Auf dem Oberflächenabschnitt 3 des Patienten werden gemäß dieser Variante der Erfindung die Referenzmarken R1, R2, R3 in Form eines regelmäßigen oder unregelmäßigen Gitters angebracht. Die Zahl der Referenzmarken beträgt z.B. 25. Dieses kann über ein großes Pflaster geschehen, auf dem die Referenzmarken R1, R2, R3 aufgedruckt sind. Während der Aufnahme von Volumendaten des Patienten werden die von den vier ersten optischen Meßeinrichtungen aufgenommenen Bilder zeitsynchron abgespeichert. Es entsteht so ein Bewegungsbild der Patientenoberfläche während der Aufnahme. Die Referenzmarken erleichtern die Identifikation von Oberflächenmerkmalen für die Bewegungsverfolgung. Der Zusammenhang zwischen Oberflächenbewegung und Volumeninformationen kann Offline ermittelt werden. Die Synchronisation der Volumeninformation mit den Oberflächeninformation erfolgt über die Herstellung des zeitlichen Bezuges zwischen Modalität und externem Bildverarbeitungssystem. Die Positionsbestimmung der Marker erfolgt über den Ansatz eines Stereo-Vision-Systems. Als Ergebnis der Berechnung existiert bei dieser Variante der Erfindung in idealer Weise für jeden Zeitpunkt der Patientenbewegung eine Oberflächendatensatz, zu dem wiederum ein Volumendatensatz zugeordnet ist.

35 **[0057]** In der Operationssituation nehmen weitere vier CMOS-Kameras, nämlich die zweiten optischen Meßeinrichtungen K2A, K2B, K2C, K2D, die Oberflächensituation des Patienten kontinuierlich auf. Ein Vergleich der aktuellen Referenzmarkenpositionen mit den in der Modalität 4 gewonnen Koordinatenmustern liefert eine Verbindung zu der entsprechenden 3D-Information, die dann visualisiert werden kann. Durch Einbeziehung eines mit Markierungen M1, M2, M3, M4 versehenen medizinischen Instruments 1 kann sich der Operateur vom System zusätzlich spezielle
40 Schichtbilder entsprechend der Drehlage des medizinischen Instruments 1 anzeigen lassen, wodurch eine Orientierung im Operationsgebiet erleichtert wird.

[0058] Zur schnellen Visualisierung der aktuellen Operationssituation können vorteilhaft moderne Grafikarten eingesetzt werden, die mit hochintegrierten Grafikbeschleunigern versehen sind. Dies hochspezialisierten Chips verfügen über Fähigkeiten, die z.B. durch hardwarenahe Programmierung bzw. Programmierung auf Systemebene in vollem Umfang ausgenutzt werden können. Die Darstellung kann sowohl auf konventionellen Displays oder auf speziellen Displays (Head-Mounted-Device o.ä.) erfolgen.

[0059] Fig. 8 zeigt eine perspektivische Darstellung des Kalibriergestells 7 von Fig. 6, welches mit Zielmarkierungen 8 versehen ist und gemäß einer Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Kalibrierung an einer definierten Stelle in dem Kernspin- oder Computer-Tomographen 4 aufgestellt wird. Das Kalibriergestell 7 stellt die Zielmarken 8 zur Bestimmung der gegenseitigen Relativlage der ersten optischen Meßeinrichtungen und der Relativlage derselben gegenüber dem Kernspin- oder Computer-Tomographen 4 bereit.
50

Gewerbliche Anwendbarkeit:

55 **[0060]** Die Erfindung ist gewerblich anwendbar z.B. im Bereich der Medizintechnik, der Chirurgie, der Diagnostik und der Therapie von Erkrankungen durch lokale Injektion von Wirkstoffen.
Leitfigur ist Fig. 1.

Liste der Bezugszeichen:

[0061]

5	1	medizinisches Instrument
	2	Körper
	3	Oberflächenabschnitt
	4	Kernspin- oder Computer-Tomograph
	5	Tisch
10	6	Trägerkörper
	7	Kalibriergestell
	8	Zielmarkierungen auf 7
	K1A,K1B	erste optische Meßeinrichtungen
	K2A,K2B,K2C,K2D	zweite optische Meßeinrichtungen
15	K3A,K3B	dritte optische Meßeinrichtungen
	K4A,K4B	vierte optische Meßeinrichtungen
	M1,M2,M3,M4	Markierungen
	P1,P2,P3	Oberflächenpunkte
	R1,R2,R3	Referenzmarken
20	R1',R2',R3'	erste Aufpunkte
	R1'',R2'',R3''	zweite Aufpunkte
	R1''',R2''',R3'''	dritte Aufpunkte
	RF	Referenzfläche
	RF',RF'',RF'''	erste, zweite, dritte Aufpunkt-Referenzfläche
25	S	medizinisch relevante Struktur
	$\phi 1, \phi 2, \phi 3$	erste, zweite, dritte Phase

Patentansprüche

- 30 1. Verfahren zur Bestimmung der Orientierung und der Relativposition eines medizinischen Instruments (1) gegenüber einer medizinisch relevanten Struktur (S), z. B. Knochen oder Tumor, im Körper (2) eines atmenden Menschen oder atmenden Tieres, dessen Oberfläche einen Oberflächenabschnitt (3) umfaßt, welcher sich aufgrund der Atmung gegenüber der Struktur (S) zumindest zeitweise bewegt, zum Zweck eines medizinischen Eingriffs, wobei
- 35 das medizinische Instrument (1) mit mindestens zwei voneinander beabstandeten, an demselben starr angeordneten Markierungen (M1,M2,M3,M4) versehen ist, deren Relativposition gegenüber dem medizinischen Instrument (1) jeweils bekannt ist, umfassend folgende Schritte:
- 40 a) in wenigstens einer ersten Phase ($\phi 1$) des Atemzyklusses des Menschen oder Tieres wird mindestens ein die Struktur (S) enthaltender Teil des Körpers (2) einer Kernspin- oder Computer-Tomographie unterzogen, mittels welcher die Struktur (S) sowie eine den Oberflächenabschnitt (3) aufspannende Vielzahl von Oberflächenpunkten (P1,P2,P3) erfaßt und die in der ersten Phase ($\phi 1$) vorliegende gegenseitige Relativposition der Oberflächenpunkte (P1,P2,P3) sowie die Relativposition der Struktur (S) gegenüber mindestens einem der Oberflächenpunkte (P1,P2,P3) bestimmt werden,
- 45 b) auf dem Oberflächenabschnitt (3) wird ein Satz von mindestens drei nicht kollinearen Referenzmarken (R1,R2,R3), welche eine ebene oder nicht ebene Referenzfläche (RF) aufspannen, die an der atmungsbedingten Bewegung des Oberflächenabschnitts (3) teilnimmt, ausgewählt, wobei der Ort jeder Referenzmarke (R1,R2,R3)
- 50 - in der ersten Phase ($\phi 1$) des Atemzyklusses durch je einen der Referenzmarke (R1,R2,R3) ein-eindeutig zugeordneten ersten Aufpunkt (R1',R2'/R3'), welche eine ebene oder nicht ebene erste Aufpunkt-Referenzfläche (RF') aufspannen,
- in einer zweiten Phase ($\phi 2$) des Atemzyklusses durch je einen der Referenzmarke (R1,R2,R3) ein-eindeutig zugeordneten zweiten Aufpunkt (R1'',R2'',R3''), welche eine ebene oder nicht ebene zweite Aufpunkt-Referenzfläche (RF'') aufspannen, und
- 55 - in einer dritten Phase ($\phi 3$) des Atemzyklusses durch je einen der Referenzmarke (R1,R2,R3) ein-eindeutig zugeordneten dritten Aufpunkt (R1''',R2''',R3'''), welche eine ebene oder nicht ebene dritte Aufpunkt-Referenzfläche (RF''') aufspannen,

- gegeben ist,
- c) mittels mindestens zwei voneinander beabstandeten ersten optischen Meßeinrichtungen (K1A,K1B) wird die Relativposition von mindestens einem der ersten Aufpunkte (R1',R2',R3') gegenüber mindestens einem der zweiten Aufpunkte (R1'',R2'',R3'') stereographisch oder trigonometrisch oder durch Bündelausgleich bestimmt,
- 5 d) mittels mindestens zwei voneinander beabstandeten zweiten optischen Meßeinrichtungen (K2A,K2B,K2C, K2D) werden die gegenseitigen Relativpositionen von mindestens dreien der zweiten Aufpunkte (R1'',R2'', R3'') stereographisch oder trigonometrisch oder durch Bündelausgleich bestimmt,
- 10 e) die Relativposition von mindestens einem der zweiten Aufpunkte (R1'',R2'',R3'') gegenüber mindestens einem der Oberflächenpunkte (P1,P2,P3) wird aus dem Ergebnis der Schritte c) und durch Ermittlung der Position der ersten oder der zweiten Aufpunkt-Referenzfläche (RF',RF'') auf dem Oberflächenabschnitt (3) durch Matching zwischen der Orientierung und Gestalt der ersten bzw. zweiten Aufpunkt-Referenzfläche (RF', RF'') und der Orientierung und der Gestalt des Oberflächenabschnitts (3) bestimmt,
- 15 f) mittels mindestens zwei voneinander beabstandeten dritten optischen Meßeinrichtungen (K3A,K3B) wird die gegenseitige Relativposition von mindestens einem der dritten Aufpunkte (R1''',R2''',R3''') gegenüber mindestens einem der ersten oder zweiten Aufpunkte (R1',R2',R3', R1'',R2'',R3'') stereographisch oder trigonometrisch oder durch Bündelausgleich bestimmt,
- g) mittels mindestens zwei voneinander beabstandeten vierten optischen Meßeinrichtungen (K4A,K4B) wird die Relativposition von mindestens zwei der Markierungen (M1,M2,M3,M4) des medizinischen Instruments (1) gegenüber jeweils mindestens einem der dritten Aufpunkte (R1''',R2''',R3''') stereographisch oder trigonometrisch oder durch Bündelausgleich bestimmt, und
- 20 h) aus den so gewonnenen Ergebnissen werden für die dritte Phase (ϕ_3) des Atemzyklusses die Orientierung und die Relativposition des medizinischen Instruments (1) gegenüber der Struktur (S) bestimmt.
- 25 **2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,**
daß die erste und die zweite Phase (ϕ_1, ϕ_2) bezüglich ihrer Lage im Atemzyklus zusammenfallen, so daß die ersten Aufpunkte (R1',R2',R3') mit den zweiten Aufpunkten (R1'',R2'',R3'') identisch sind, und der Verfahrensschritt c) entfällt.
- 30 **3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,**
daß die erste und die dritte Phase (ϕ_1, ϕ_3) bezüglich ihrer Lage im Atemzyklus zusammenfallen, so daß die ersten Aufpunkte (R1',R2',R3') mit den dritten Aufpunkten (R1''',R2''',R3''') identisch sind, und der Verfahrensschritt f) entfällt.
- 35 **4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,**
daß die ersten und/oder zweiten und/oder dritten und/oder vierten optischen Meßeinrichtungen (K1A,K1B,K2A, K2B,K2C,K2D,K3A,K3B,K4A,K4B) identisch sind.
- 40 **5. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet,**
daß die Anzahl der ersten, zweiten, dritten und vierten optischen Meßeinrichtungen (K1A,K1B,K2A,K2B,K2C,K2D, K3A,K3B,K4A,K4B) jeweils gleich vier ist.
- 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet,**
daß die ersten, zweiten, dritten und vierten optischen Meßeinrichtungen (K1A,K1B,K2A,K2B,K2C,K2D,K3A,K3B, K4A,K4B) jeweils Videokameras sind.
- 45 **7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,**
daß im Atemzyklus des Menschen oder Tieres die erste Phase (ϕ_1) jeweils dem Übergang vom Einatmen zum Ausatmen und die dritte Phase (ϕ_1, ϕ_3) jeweils dem Übergang vom Ausatmen zum Einatmen entspricht.
- 50 **8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet,**
daß die Referenzmarken (R1,R2,R3) auf einer Trägerfläche, z.B. Pflaster, markiert sind, welche auf der Oberfläche des Körpers lösbar fixiert, z.B. aufgeklebt wird.
- 55 **9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,**
daß der Verfahrensschritt a) für eine Mehrzahl oder Vielzahl verschiedener, in ihrer Phasenlage bezüglich des Atemzyklus voneinander beabstandeter erster Phasen (ϕ_1) wiederholt wird, so daß für jede der ersten Phasen (ϕ_1) ein eigener, zu dieser ersten Phase (ϕ_1) gehörender Satz von gegenseitigen Relativpositionen der Oberflä-

chenpunkte (P1,P2,P3) sowie eine zu dieser ersten Phase (φ_1) gehörende Relativposition der Struktur (S) gegenüber mindestens einem der Oberflächenpunkte (P1,P2,P3) bestimmt werden.

10. Verfahren nach Anspruch 1 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**,
5 **daß** der Verfahrensschritt d) für eine Mehrzahl oder Vielzahl verschiedener, in ihrer Phasenlage bezüglich des Atemzyklus voneinander beabstandeter zweiter Phasen (φ_2) wiederholt wird, so daß für jede der zweiten Phasen (φ_2) ein eigener, zu dieser zweiten Phase (φ_2) gehörender Satz von gegenseitigen Relativpositionen der zweiten Aufpunkte (R1",R2",R3") bestimmt wird.
- 10 11. Verfahren nach den Ansprüchen 2, 9 und 10, **dadurch gekennzeichnet**,
 daß die Anzahl der ersten Phasen (φ_1) und die Anzahl der zweiten Phasen (φ_2) identisch sind, so daß jeder der ersten Phasen (φ_1) genau eine der zweiten Phasen (φ_2) zugeordnet ist, und die Phasenlage jeder der ersten Phasen (φ_1) mit der Phasenlage der ihr zugeordneten zweiten Phase (φ_2) übereinstimmt.
- 15 12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**,
 daß jede Durchführung des Verfahrensschrittes a) mit einer Durchführung des Verfahrensschrittes d) zeitlich zusammenfällt, so daß die Durchführung der Verfahrensschritte a) mit der Durchführung des Verfahrensschrittes d) jeweils synchron erfolgt.
- 20 13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**,
 daß alle Wiederholungen des Verfahrensschrittes a) und des Verfahrensschrittes d) innerhalb eines einzigen, nämlich eines ersten Atemzyklusses erfolgen.
- 25 14. Verfahren nach Anspruch 1 oder 12, **dadurch gekennzeichnet**,
 daß die Verfahrensschritte f) bis h) für eine Mehrzahl oder Vielzahl verschiedener, in ihrer Phasenlage bezüglich des Atemzyklus voneinander beabstandeter dritter Phasen (φ_3) wiederholt werden, so daß für jede der dritten Phasen (φ_3) die Orientierung und die Relativposition des medizinischen Instruments (1) gegenüber der Struktur (S) neu bestimmt werden.
- 30 15. Verfahren nach den Ansprüchen 3, 9,10, 11 und 14, **dadurch gekennzeichnet**,
 daß die Anzahl der zweiten Phasen (φ_2) und die Anzahl der dritten Phasen (φ_3) identisch sind, so daß jeder der dritten Phasen (φ_3) eine der zweiten Phasen (φ_2) eindeutig zugeordnet ist, und die Phasenlage jeder der dritten Phasen (φ_3) mit der Phasenlage der ihr zugeordneten zweiten Phasen (φ_2) übereinstimmt, wobei für jede der dritten Phasen (φ_3) die Orientierung und die Relativposition des medizinischen Instruments (1) gegenüber der Struktur (S) unter Verwendung
35 - desjenigen Satzes von gegenseitigen Relativpositionen der zweiten Aufpunkte (R1",R2",R3"), welcher zu der dieser dritten Phase (φ_3) zugeordneten zweiten Phase (φ_2) gehört,
 - desjenigen Satzes von gegenseitigen Relativpositionen der Oberflächenpunkte (P1,P2,P3), welcher zu der dieser zweiten Phase (φ_2) zugeordneten ersten Phase (φ_1) gehört, und
40 - derjenigen Relativposition der Struktur (S) gegenüber mindestens einem der Oberflächenpunkte (P1,P2,P3), welche zu der dieser zweiten Phase (φ_2) zugeordneten ersten Phase (φ_1) gehört,

 neu bestimmt wird.
45 16. Verfahren nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**,
 daß die Verfahrensschritte f) bis h) erst nach Ende des ersten Atemzyklusses durchgeführt werden.
- 50 17. Verfahren nach Anspruch 1 oder 16, **dadurch gekennzeichnet**,
 daß die Verfahrensschritte f) bis h) über eine Mehrzahl von Atemzyklen hinweg fortlaufend wiederholt werden.
- 55 18. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**,
 daß die Orientierung bzw. die Relativposition des medizinischen Instruments (1) gegenüber der Struktur (S) für eine beliebige vierte Phase des Atemzyklusses gewonnen werden, indem zwischen den für zwei verschiedene dritten Phasen (φ_3) ermittelten Orientierungen des medizinischen Instruments (1) bzw. zwischen den für zwei verschiedene dritten Phasen (φ_3) ermittelten Relativposition des medizinischen Instruments (1) gegenüber der Struktur (S) linear oder nichtlinear interpoliert wird.

EP 1 319 368 A2

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 19, dadurch gekennzeichnet,
daß die jeweils zuletzt bestimmte Orientierung und Relativposition des medizinischen Instruments (1) gegenüber
der Struktur (S) auf mindestens einem Monitor graphisch dargestellt werden.
- 5 20. Verfahren nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet**,
daß auf dem Monitor bzw. den Monitoren zusätzlich die jeweils zuletzt bestimmte Relativposition der Referenz-
marken (R1,R2,R3) gegenüber der Struktur (S) in Echtzeit dargestellt wird.
- 10 21. Verfahren nach Anspruch 19 oder 20, **dadurch gekennzeichnet**,
daß die Darstellung auf dem Monitor bzw. den Monitoren in Echtzeit erfolgt.
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**,
daß sich die ersten optischen Meßeinrichtungen (K1A,K1B) innerhalb des Kernspin- oder Computer-Tomographen
(4) befinden.
- 15 23. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**,
daß die Markierungen (M1,M2,M3,M4) starr an einem Trägerkörper (6) angeordnet sind, welcher seinerseits starr
und lösbar mit dem medizinischen Instrument (1) verbunden und nacheinander an verschiedenen medizinischen
Instrumenten einsetzbar ist.
- 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55

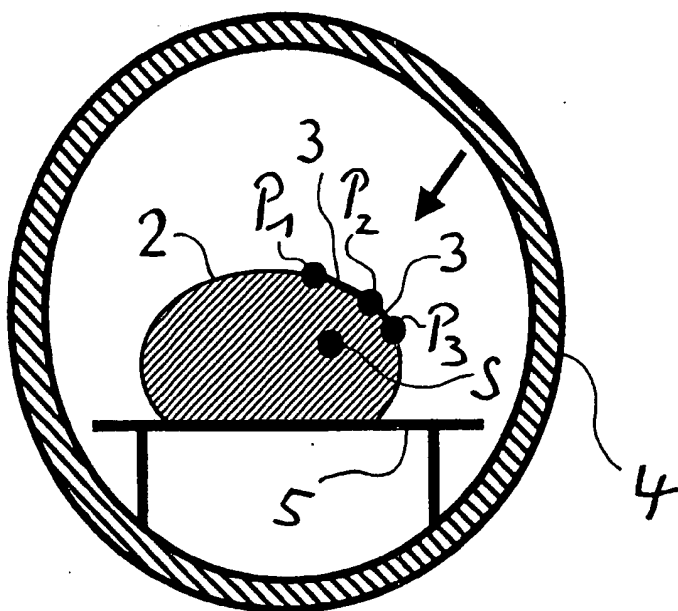


Fig. 1

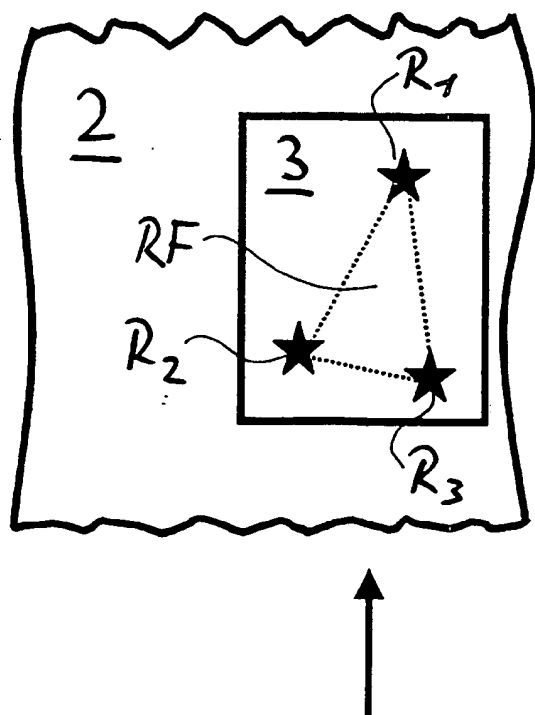


Fig. 2

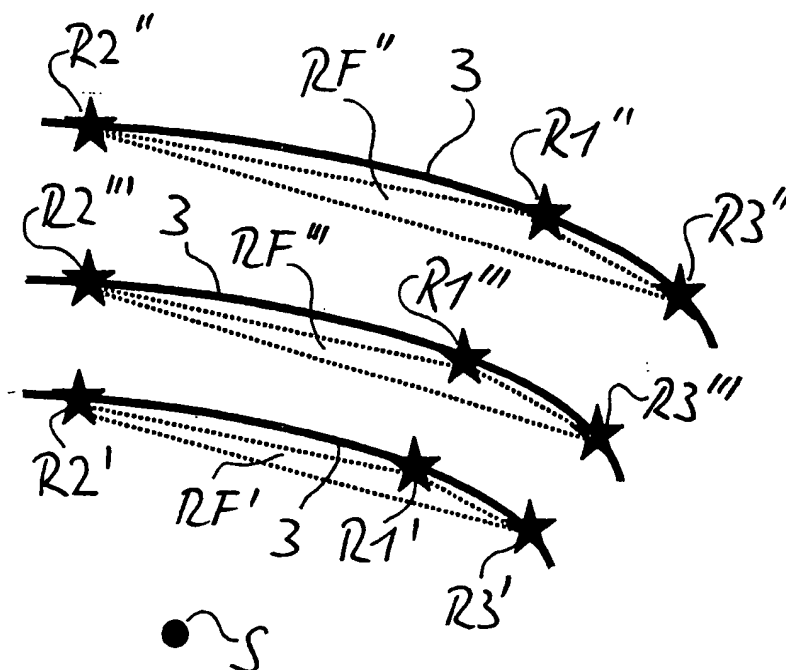


Fig. 3

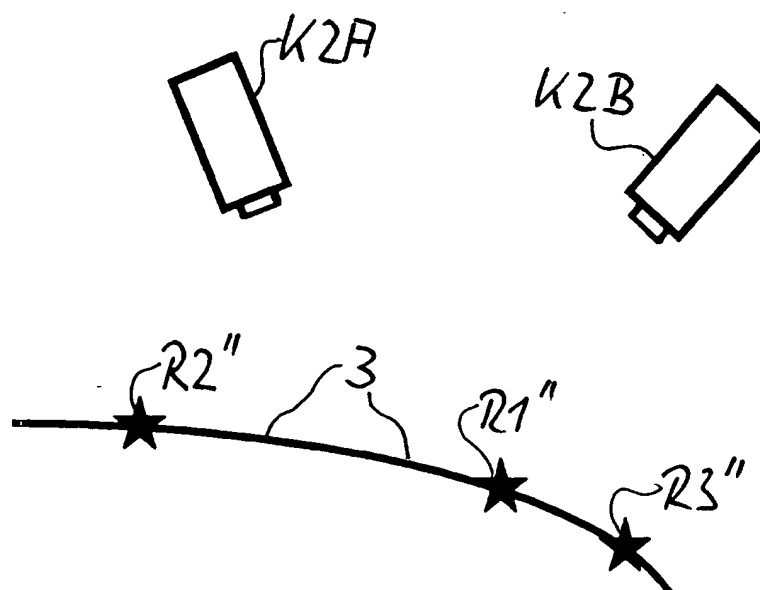


Fig. 4

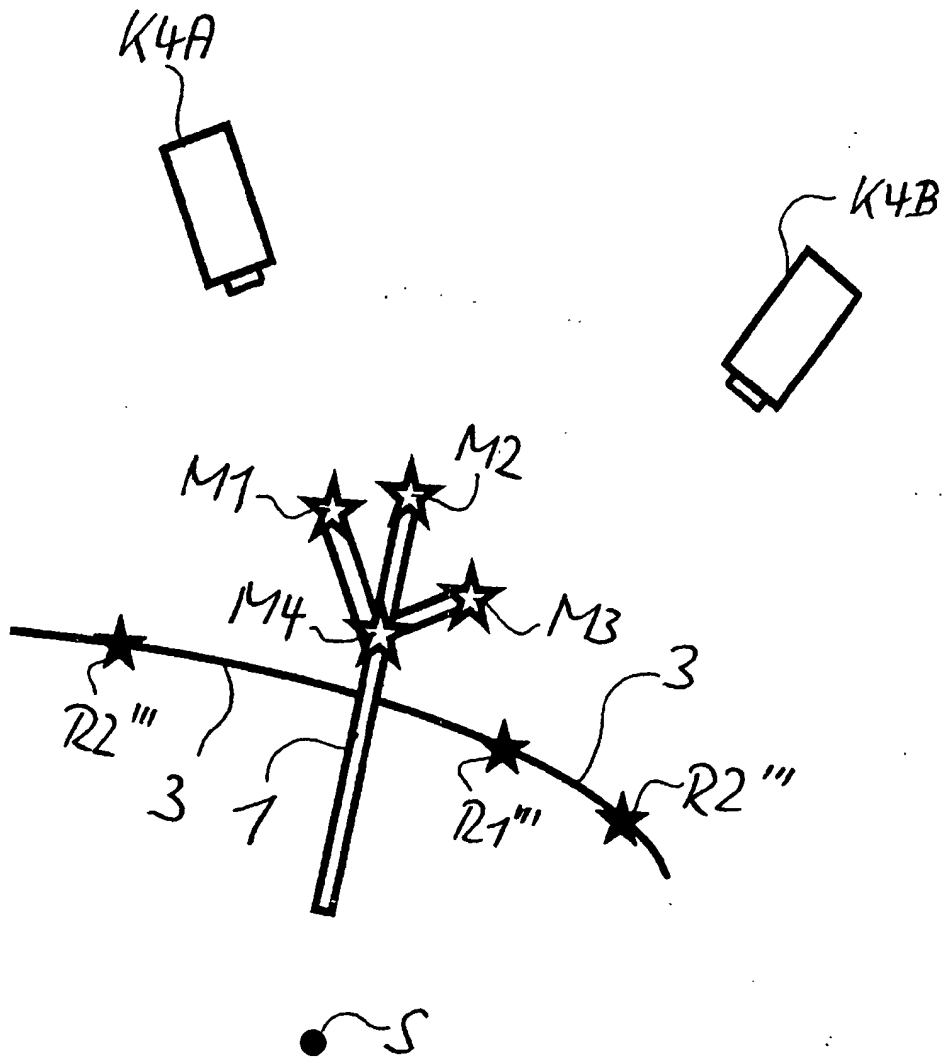


Fig. 5

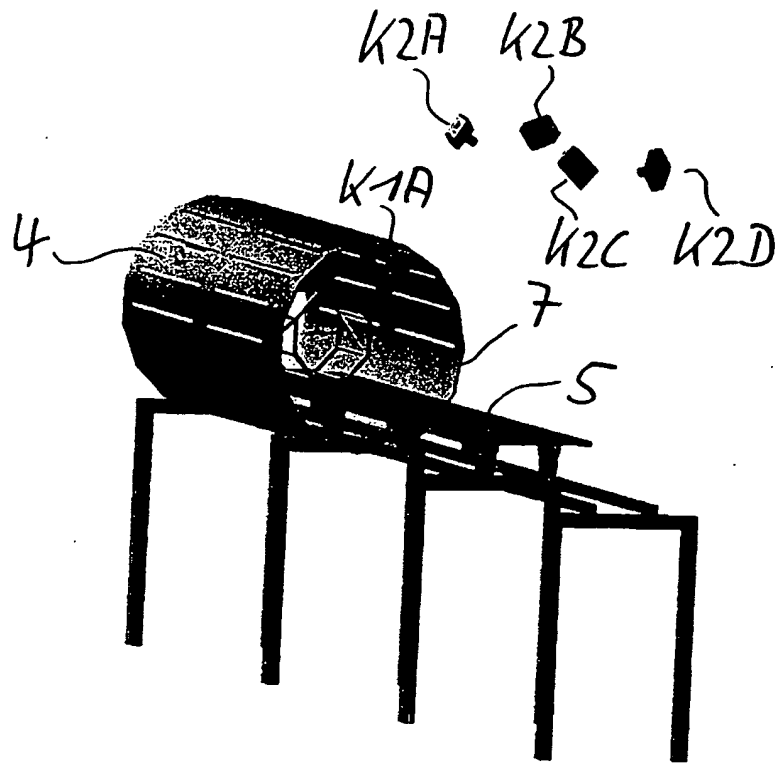


Fig. 6

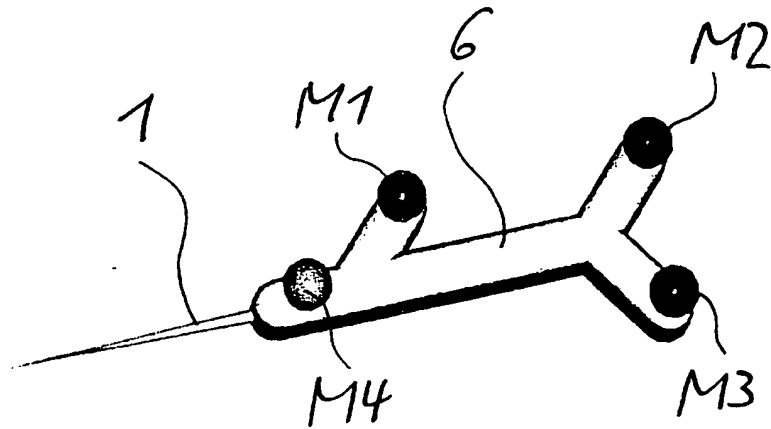


Fig. 7

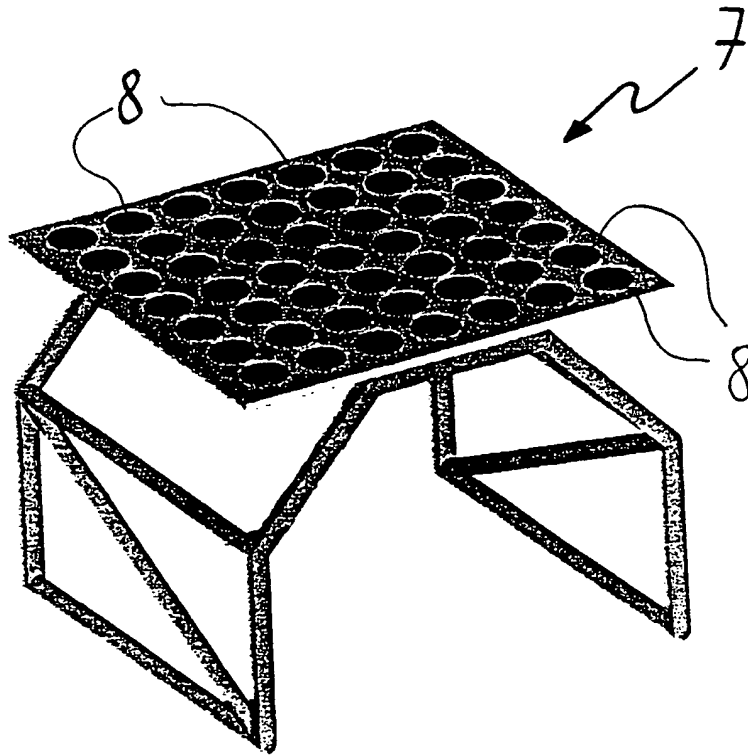


Fig. 8

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.